

Curso de Extensão Universitária - IAG/USP – 13/janeiro/2004

As Ferramentas do Astrônomo

Prof^a. Jane Gregorio-Hetem

LUZ & RADIAÇÃO

O que estuda a Astronomia ?



características da LUZ proveniente dos astros



- Astrometria e Dinâmica Celeste \Rightarrow direção de onde provém a radiação \Rightarrow posição e movimento dos objetos.

Astrofísica



- interpretação da radiação emitida pelos objetos astronômicos \Rightarrow informações \Rightarrow temperatura, composição química, etc.
- Luz (radiação eletromagnética) \Rightarrow transporte de energia por meio de flutuações dos campos elétrico e magnético.



A Natureza da Luz



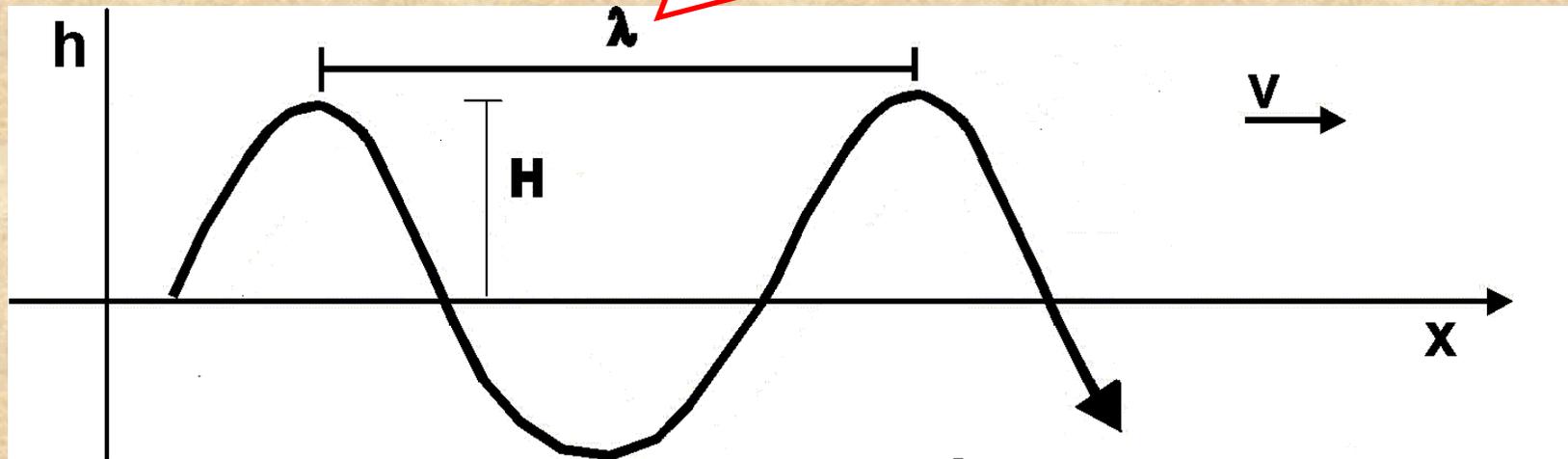
- Ondas eletromagnéticas ⇒ diferença de outros exemplos de ondas encontrados na natureza (ondas na água, ondas sonoras, sísmicas, etc.) :
não necessitam de um meio físico para serem transportadas.
- Para ilustrar ⇒ exemplo do efeito de uma pedra sendo atirada num lago ⇒ deslocamento movimento ondulatório:

Exemplo de ondas formadas em um lago. A distância entre as cristas de uma onda definem seu comprimento (representado por λ).

lambda



Comprimento de onda



Esquema da propagação de uma onda: variação da altura em função da distância percorrida

(H: amplitude, v: velocidade, λ : comprimento da onda).

Natureza da Luz: ondulatória

$$h = H \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - v t) \right]$$

máximos ocorrem quando:

$$t = \frac{v}{l} \Rightarrow \text{período de oscilação;}$$

como

$$\text{frequência} = 1/\text{período} \Rightarrow f = \frac{l}{v}$$

nas unidades de 1/segundo = Hertz (Hz).

Exemplo de Aplicação

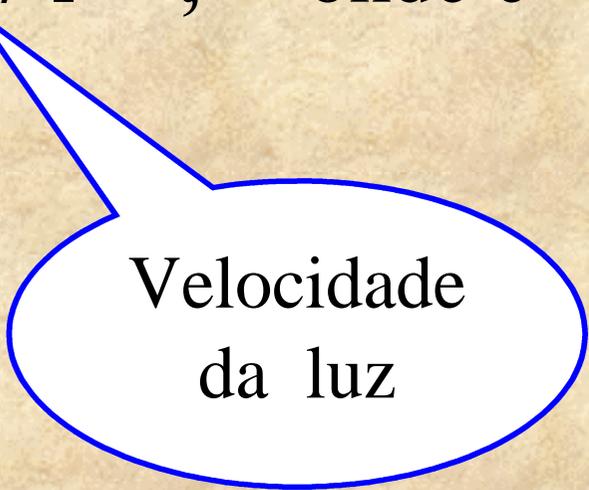
- Considere uma onda produzida em um lago, cuja velocidade de deslocamento é de 20 cm/s. A distância entre dois máximos (cristas) é de 4 cm. Qual a frequência de oscilação dessa onda?

Frequências em Astrofísica

frequência = velocidade / comprimento de onda



$$n = c / \lambda \quad , \quad \text{onde } c \sim 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$$



Velocidade
da luz

A blue-outlined speech bubble with a tail pointing to the variable 'c' in the equation above. The text inside the bubble is centered and reads 'Velocidade da luz'.

Natureza da Luz: Quântica

Fótons transportam a luz



$$E_{\text{fóton}} = h \nu$$

frequência

energia

onde $h = 6,63 \cdot 10^{-27}$ erg s
(constante de Planck).

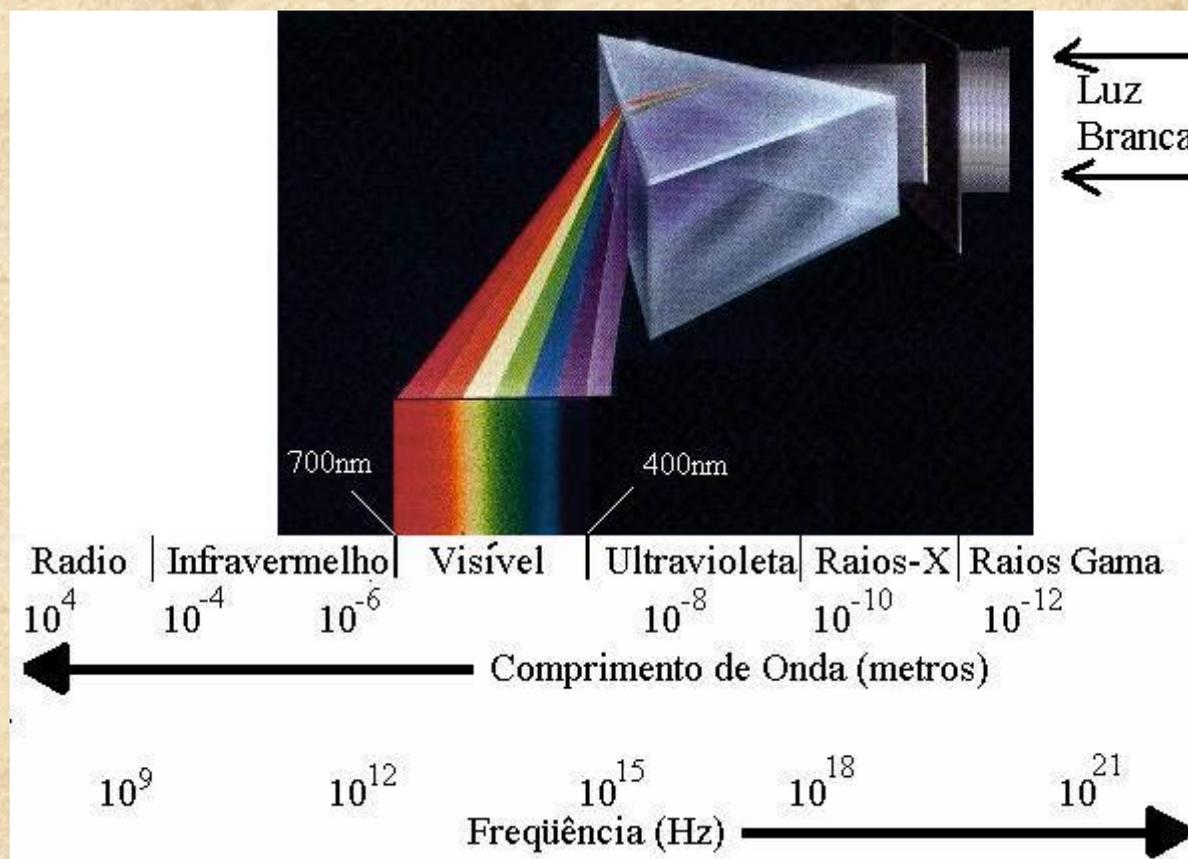
Exemplo de Aplicação

Calcule a frequência (em Hz) e a energia (em erg) para cada comprimento de onda, referente a diferentes regiões espectrais

$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}; h = 6,63 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}; 1 \text{ Watt} = 10^7 \text{ erg s}^{-1}$$

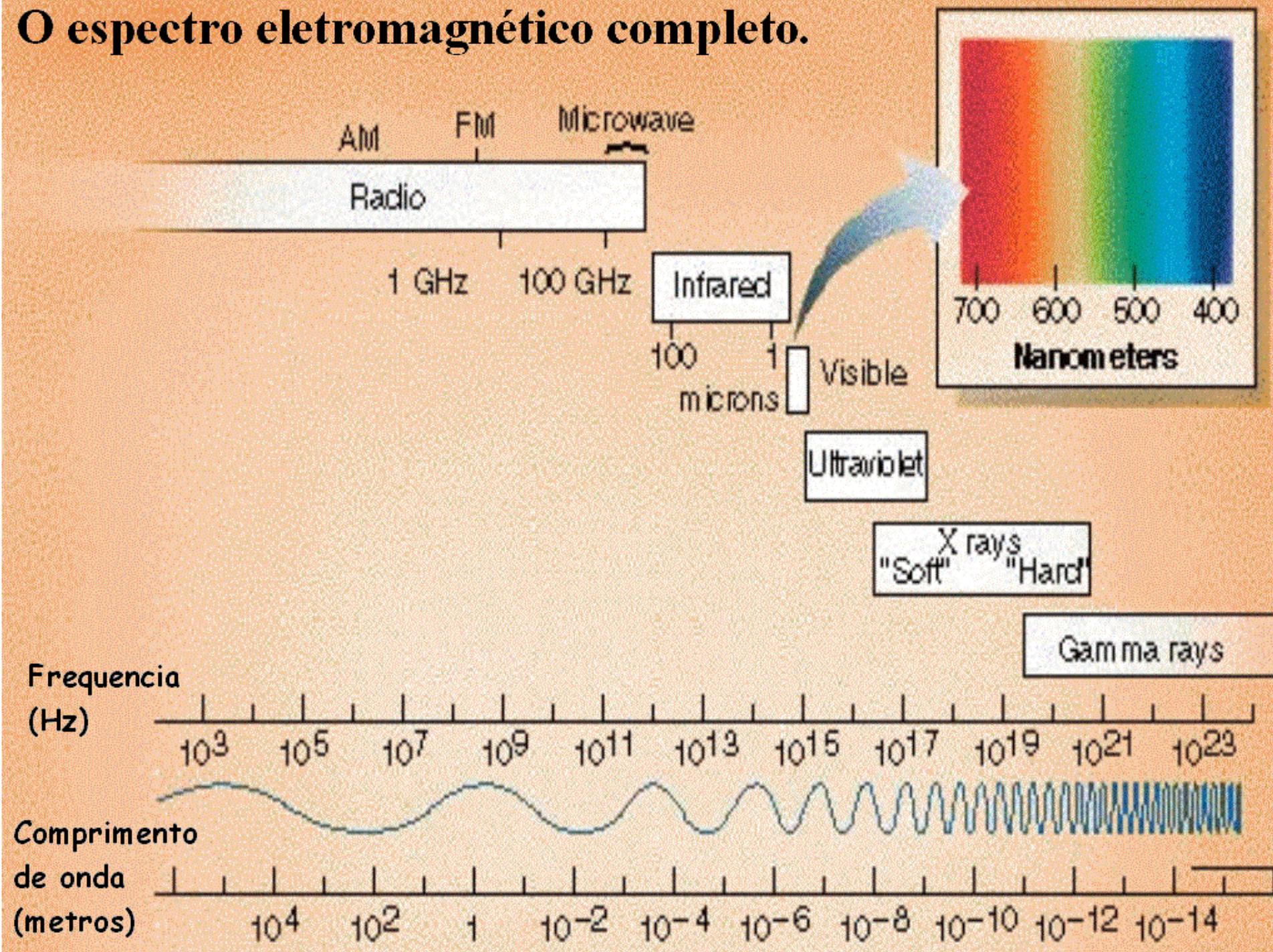
Região	λ (cm)	ν (Hz)	$E=h \nu$ (erg)
Raios-X	10^{-7}	$3 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{-9}$
Ultravioleta	$2 \cdot 10^{-6}$		
Visível	$5 \cdot 10^{-6}$		
Infravermelho	$25 \cdot 10^{-4}$		
Rádio	1500	$2 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^{-19}$

O Espectro Eletromagnético



A luz branca, quando atravessa um prisma é decomposta em diferentes cores (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta) da faixa visível.

O espectro eletromagnético completo.



Distribuição de Radiação

Luz proveniente dos astros



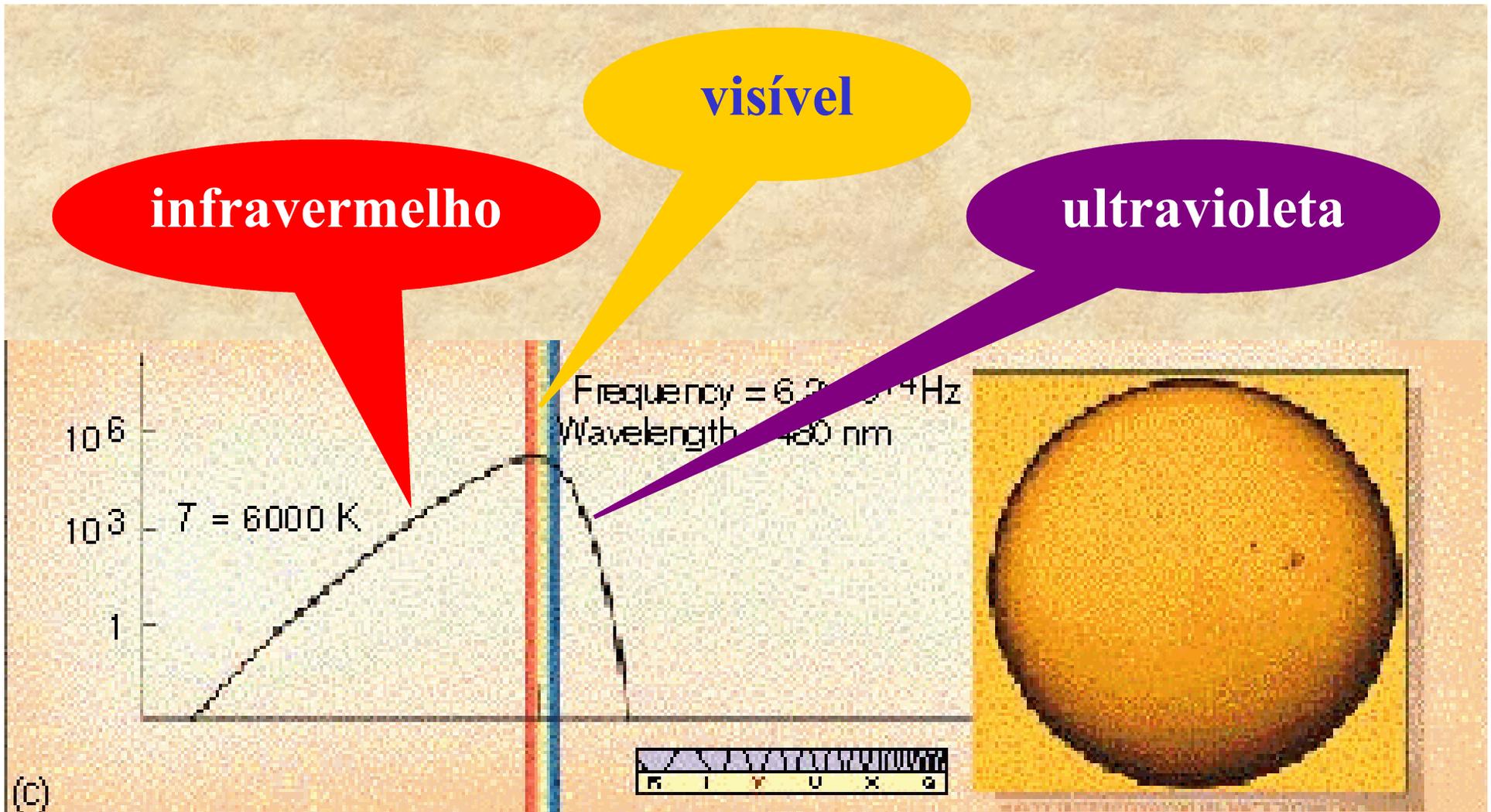
Radiação Eletromagnética



pode ser observada sob diferentes formas

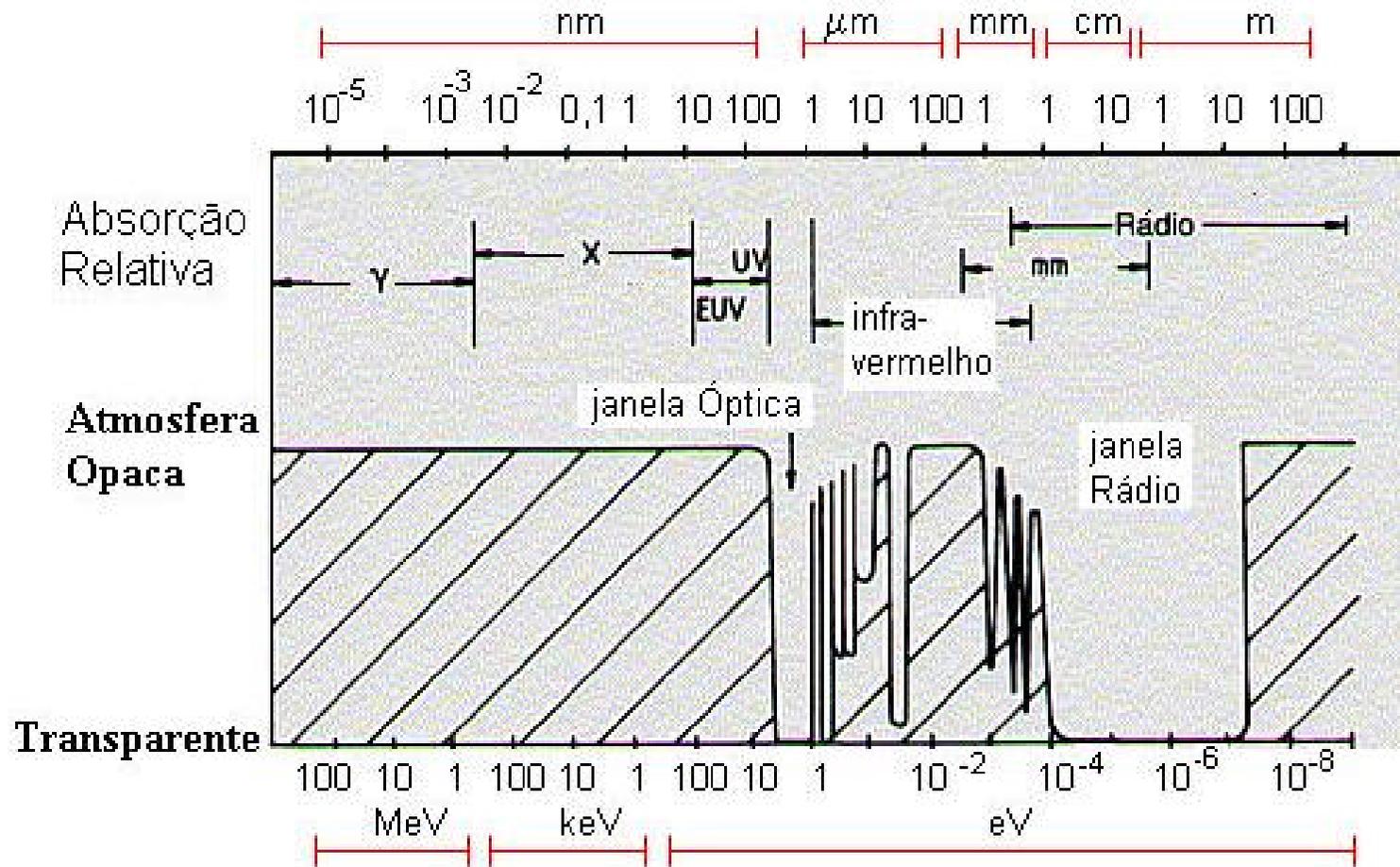


diferentes faixas espectrais: visível,
infravermelho, ultravioleta, ondas rádio, etc.



Observando a radiação do Sol em muitas frequências notamos que o pico se encontra na parte visível do espectro e que ele emite muito mais no infravermelho do que no ultravioleta.

Janelas na Atmosfera Terrestre



A absorção causada pela atmosfera terrestre. Na superfície da Terra, somente pode ser detectada radiação das janelas no óptico, em partes do infravermelho e em rádio.

TELESCÓPIOS

- Ópticos: Refletores e Refratores
- Radiotelescópios
- Astronomia espacial: Satélites, Balões, etc:

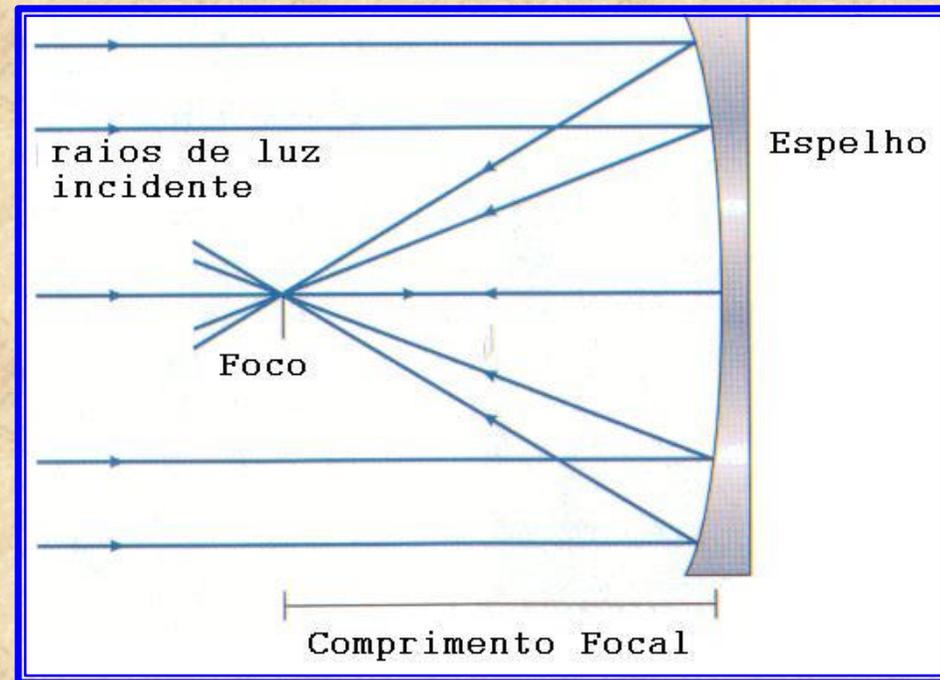
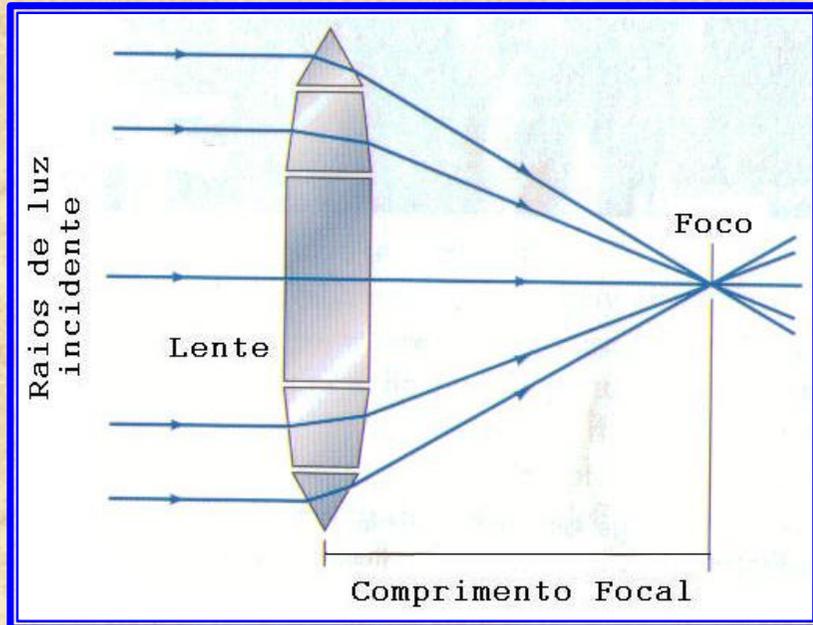


Infravermelho, Ultravioleta, Altas energias

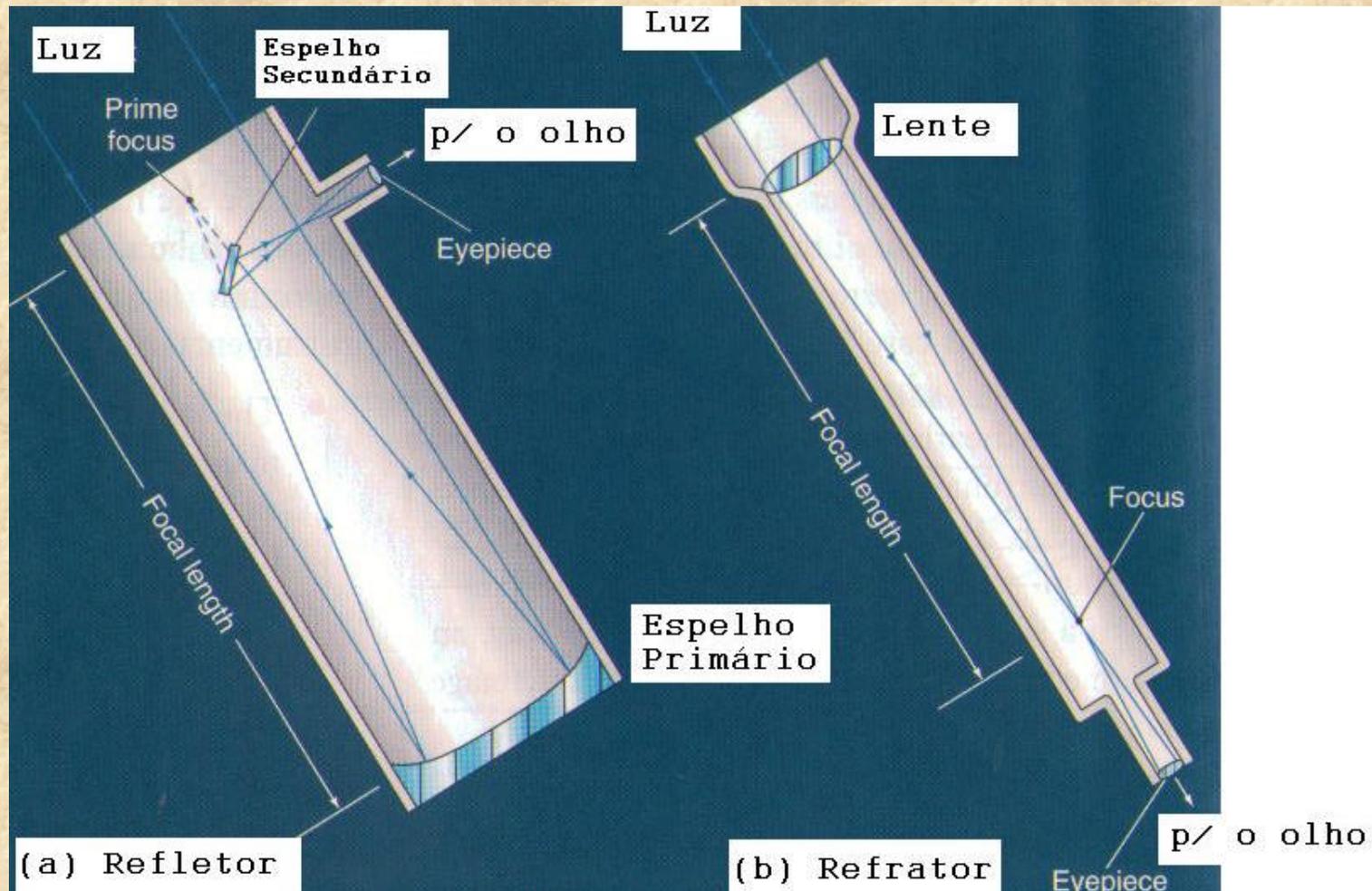
Telescópios Ópticos

- A função de um telescópio é coletar a radiação e levá-la a um foco.
- Para focalizar dos raios luminosos pode ser utilizado um espelho curvo (reflexão) ou uma lente (refração)

Refração e Reflexão da Luz

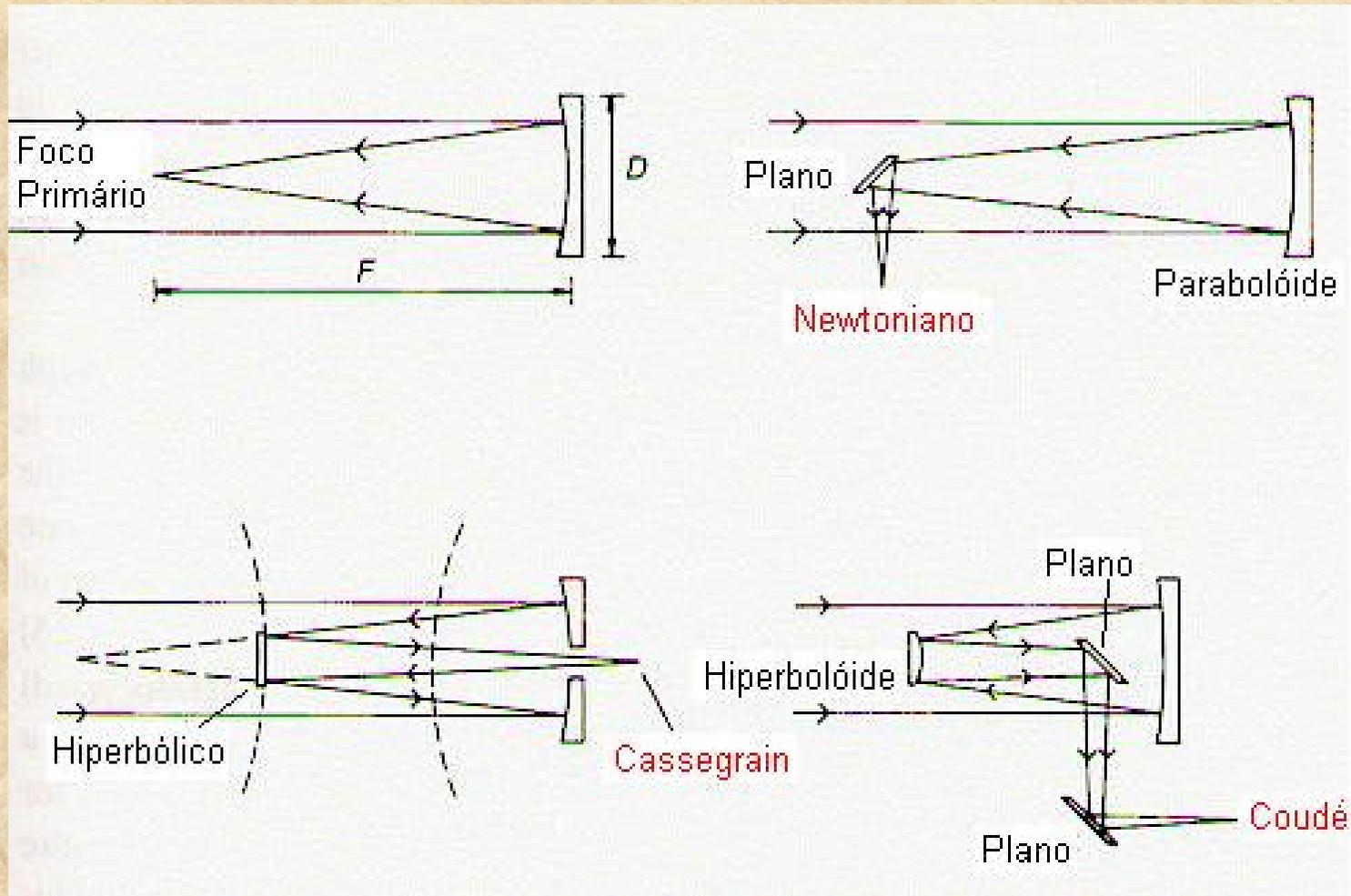


Tipos de Telescópios



Os maiores espelhos têm diâmetros da ordem de 10 metros. As maiores lentes têm 1 metro de diâmetro.

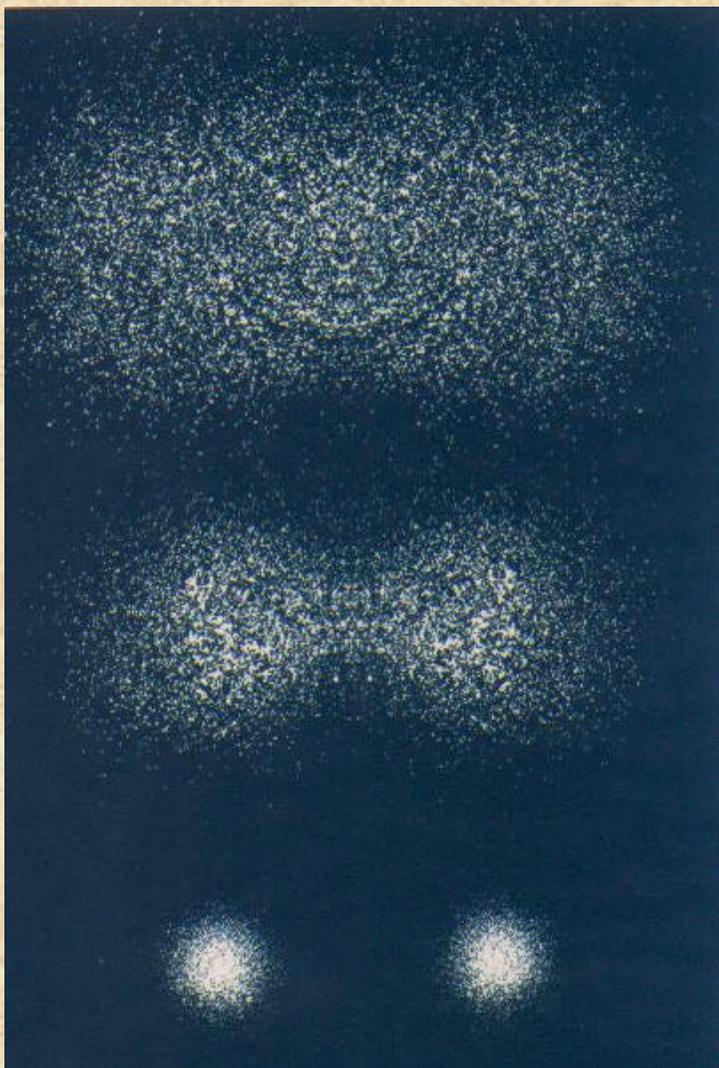
Telescópios Refletores



Principais tipos de focos utilizados na construção de telescópios refletor.

Tamanho (diâmetro) do Telescópio

- Características que definem a boa qualidade da observação astronômica: **poder de resolução** (melhor nível de detalhamento) e **sensibilidade** (maior quantidade de radiação coletada num menor tempo de exposição).



Duas fontes de brilho comparável são observadas de forma progressivamente mais clara, à medida que a resolução angular melhora.

As fontes podem ser discernidas somente com um telescópio de poder de resolução adequado.

Tamanho (diâmetro) do Telescópio

- O brilho observado é diretamente proporcional à área da superfície coletora
- **Ganho** de um telescópio, com relação a um outro, quadrado da razão entre o diâmetro das objetivas (lentes ou espelhos).

Exemplo: telescópio de 4m comparado com telescópio de 1m

- Ganho do telescópio de 4 m \Rightarrow imagem 16 vezes mais brilhante que de um telescópio de 1 m.
- Tempo de exposição: uma imagem equivalente telescópio de 4 m \Rightarrow em 3,75 minutos
telescópio de 1 m \Rightarrow em 60 minutos.

De forma geral \Rightarrow tempo de exposição é inversamente proporcional ao quadrado do diâmetro do telescópio.

Telescópio Espacial Hubble

O *Hubble* tem diâmetro de 2,4m. Não sofre efeito de difração da atmosfera



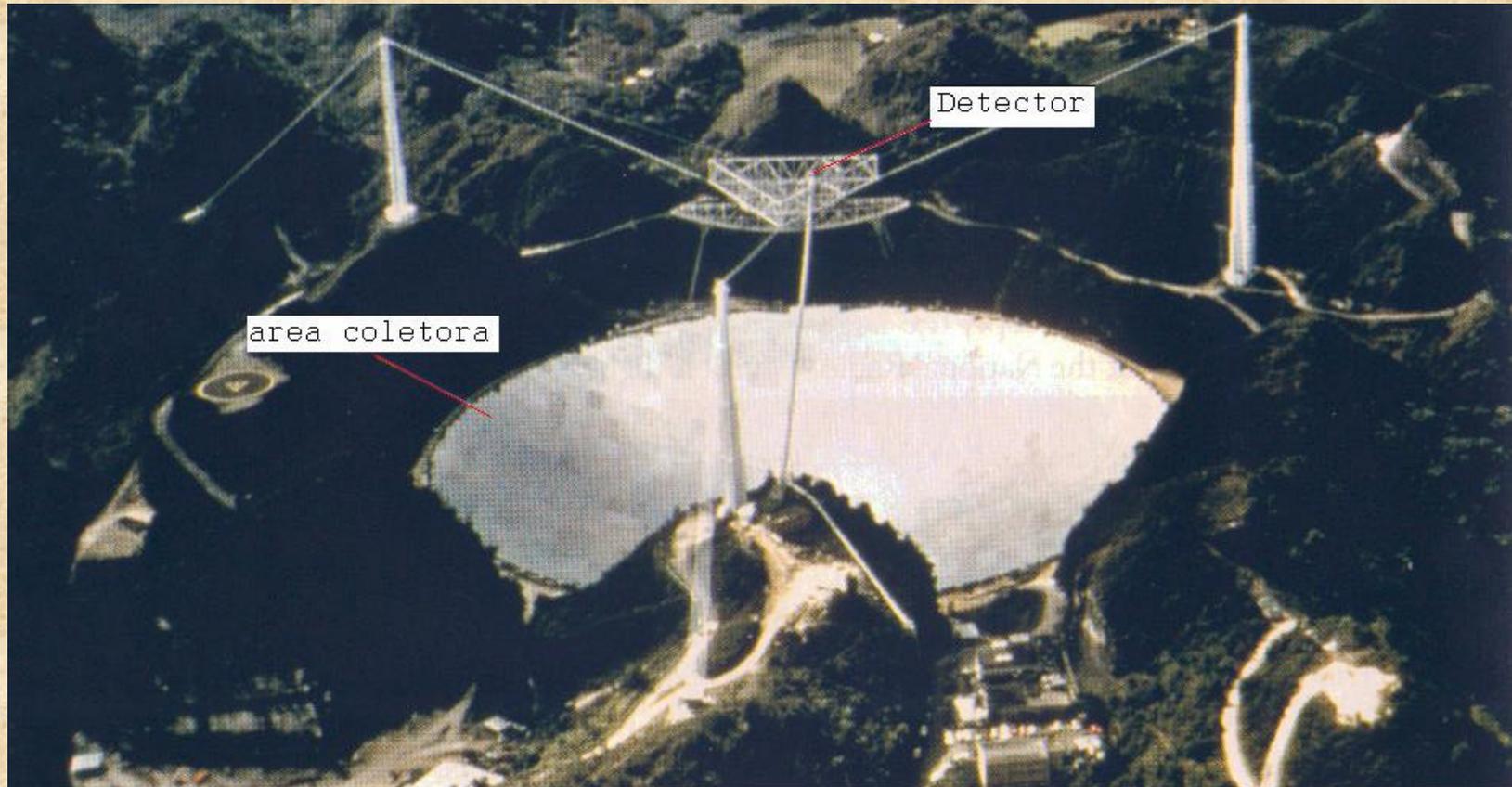
visão do Universo cerca de 20 vezes mais apurada que qualquer grande telescópio em solo.

**Telescópio Espacial Hubble
(HST)**



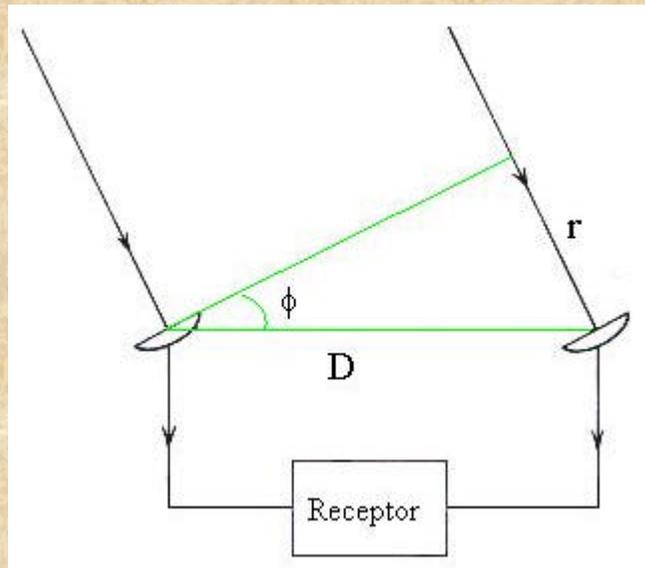
Radiotelescópios

A emissão de ondas rádio ($\lambda \sim 10^{-3}$ a 10^3 m) pode ser coletada por antenas parabólicas e levadas a um receptor.



Arecibo (antena com 300 m de diâmetro)

Rádio-interferômetros



Esquema de um interferômetro de duas antenas. Quanto maior a linha de base (D) melhor o poder de resolução. Várias antenas podem ser combinadas, como no exemplo do VLA (*Very Large Array*).



O arranjo das 27 antenas (com 25m de diâmetro cada) dispostas sobre trilhos em forma "Y" formando o VLA.

Novas Gerações de Telescópios

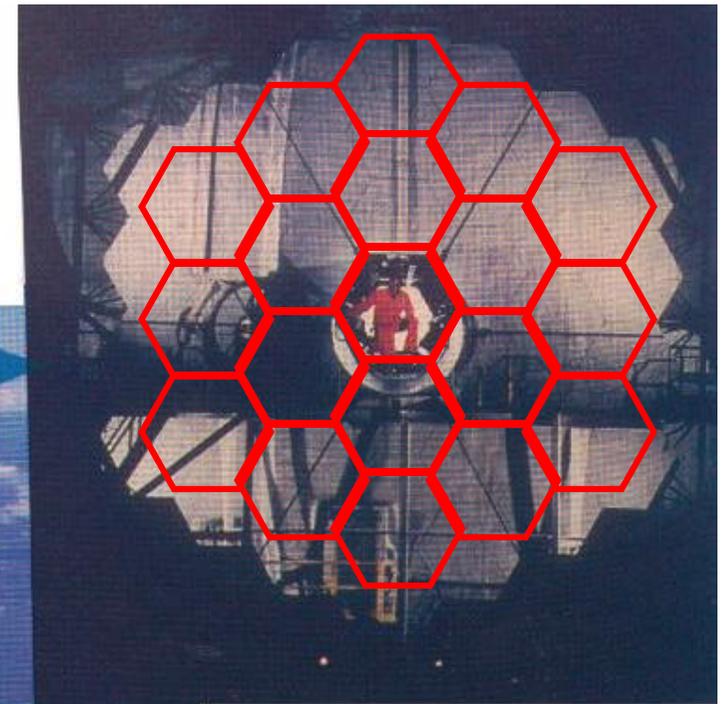
Ex. de espelho segmentado: Keck de 10 m de diâmetro \Rightarrow mosaico formado por 36 telescópios de 1,8m de diâmetro (hexagonais)

\Downarrow novas técnicas

- **óptica ativa:** são efetuados contínuos ajustes para evitar deformidades
- **óptica adaptativa:** os ajustes são feitos para corrigir o efeito da turbulência atmosférica

Observatório Mauna Kea

(a)



(b)

(a) Observatório localizado no Havaí (4 km altitude). Os domos abrigam telescópios diferentes. **(b)** Destaque para um dos telescópios Keck de 10 m de diâmetro, composto de um mosaico de espelhos hexagonais (Note o técnico no centro)

Grandes Telescópios

VLT (*Very Large Telescope*) \Rightarrow quatro telescópios de 8,2 m de diâmetro, capazes de operar individualmente ou em conjunto, levando a luz a um foco comum.



área coletora equivalente a de um espelho de 16,4m de diâmetro.

Astronomia Espacial

Os comprimentos de onda correspondentes às altas energias (raios γ , raios X, ultravioleta), são absorvidos na ionosfera, a uma altitude de 100 km
 \Rightarrow detectados em equipamentos a bordo de balões e aviões.

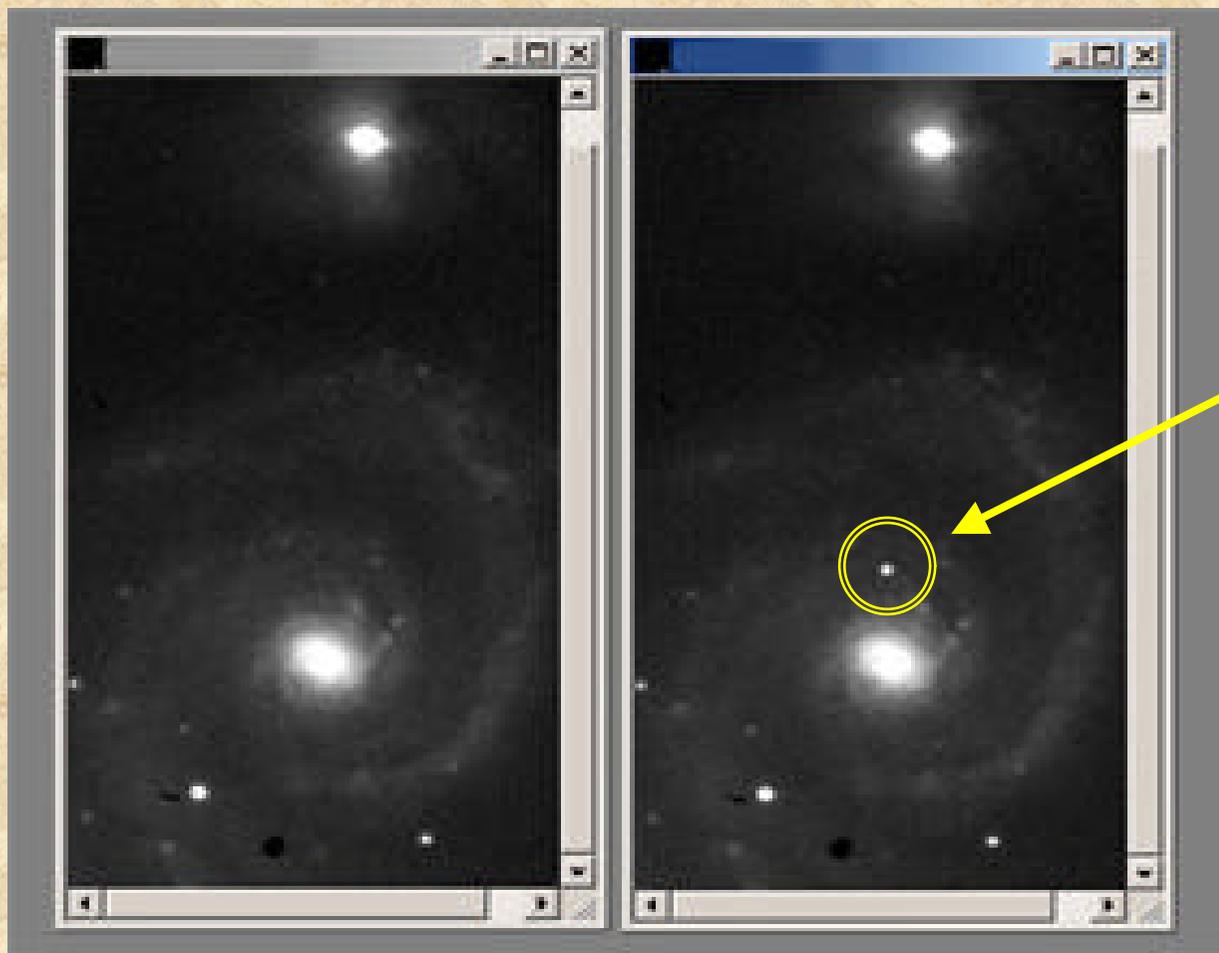
Satélites utilizados nas observações de altas energias:

raios-X: **Einstein, ROSAT, XMM, Chandra.**

raios gama: **GRO** (*Gamma Ray Observatory*)

raios ultravioleta: **IUE** (*International Ultraviolet Explorer*)

IMAGENS



Imagens de uma galáxia obtidas em épocas diferentes. Uma supernova destaca-se na segunda imagem.

Como se faz o estudo e a comparação de diferentes imagens astronômicas?

Detectores

Detetores eletrônicos são os mais empregados \Rightarrow **CCDs** (*Charge-Coupled Devices*), cuja saída é diretamente ligada a um computador, que irá armazenar os dados.

CCD \Rightarrow pastilha de silício (*chip*), dividida em vários pequenos elementos \Rightarrow **pixels** (*picture elements*) num arranjo bidimensional.

Quando a luz atinge um pixel, uma carga elétrica é liberada no CCD. A quantidade de carga é diretamente proporcional ao número de fótons incidentes naquele pixel, ou seja à intensidade de luz recebida.

Imagens CCD

Um arquivo de dados é representado por uma matriz de números:

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	80	90	75	0	0	0
0	0	50	108	132	100	66	0	0
0	64	112	109	130	166	120	50	0
0	0	106	113	52	112	116	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cada número corresponde ao brilho de uma parte do céu na imagem.

Como medir a radiação dos astros?

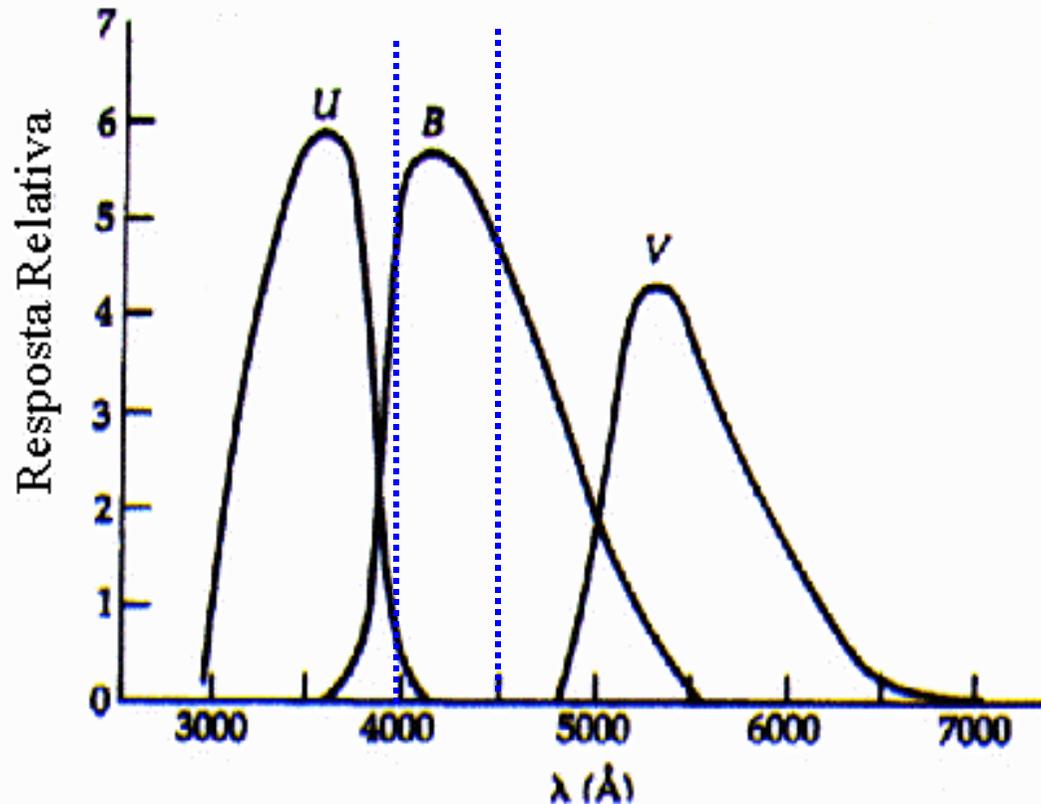
- Intensidade (**fotometria**): contagem de fótons para uma faixa de comprimentos de onda (λ).
- Luz dispersada em espectro (**espectroscopia**): contagem de fótons em um determinado λ .

FOTOMETRIA

Sistema fotométrico mais usual \Rightarrow Johnson
 \Rightarrow bandas U($\lambda=350\text{nm}$), B($\lambda=450\text{nm}$),
V($\lambda=550\text{nm}$), onde U, B, V representam a
magnitude aparente (m_U , m_B , m_V) nas bandas
espectrais do ultravioleta, do azul e do visível,
respectivamente.

Os sistemas fotométricos também se estendem
para outras faixas espectrais, como o vermelho
(R,I) e infravermelho (J,H,K,...).

Sistemas de Filtros



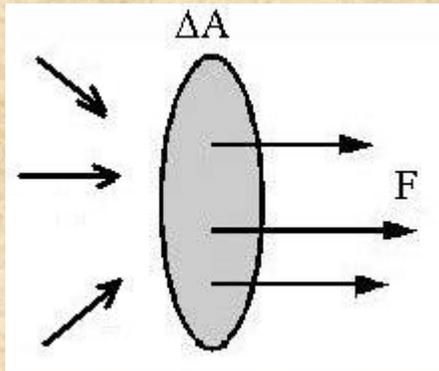
Cada filtro permite a passagem apenas dos fótons em uma dada faixa de comprimentos de onda.

Ex: com o filtro B(azul) o máximo está entre 4000 a 4500Å

(1Å = 10⁻⁸ cm)

Perfil padrão dos filtros UVB, indicando o máximo de resposta nos diferentes comprimentos de onda.

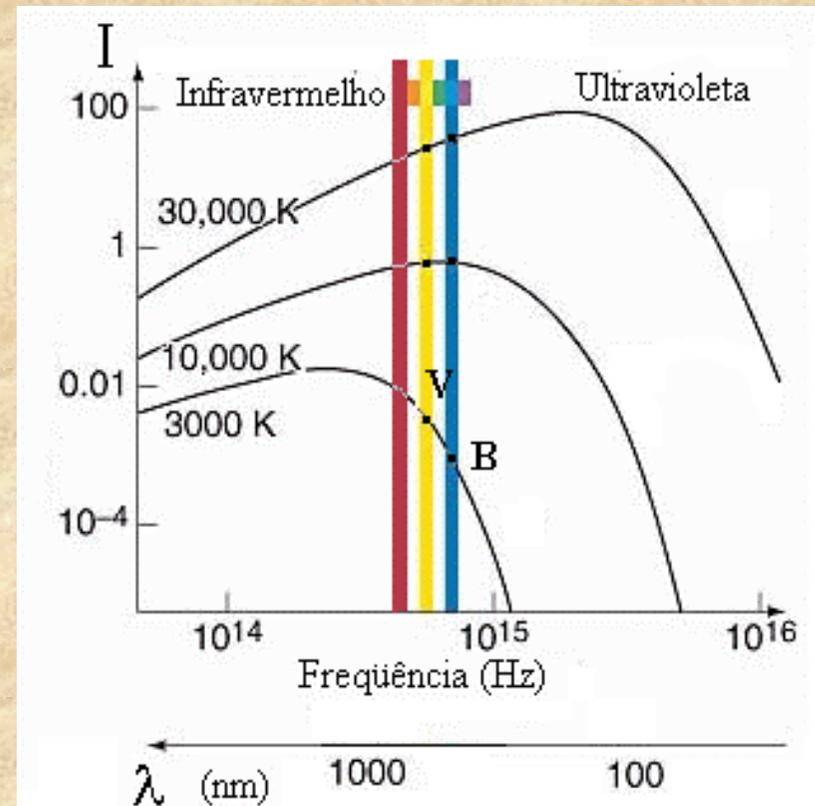
Fluxo de Radiação



$$\text{Fluxo} = \frac{\text{energia}}{\Delta A \Delta t \Delta \nu} \left[\frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \text{ s Hz}} \right]$$

O Fluxo de fótons emitidos depende da temperatura da estrela:

$$F_* \propto T_*^4$$



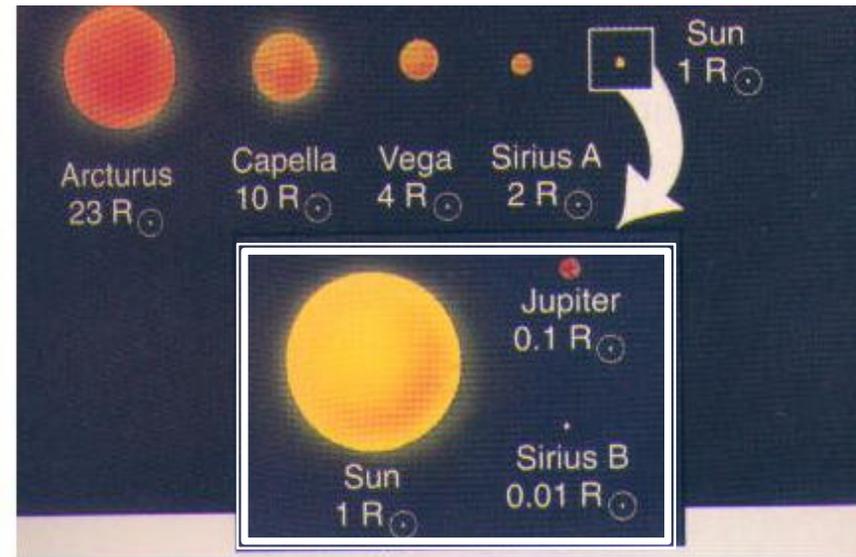
Luminosidade

A **luminosidade** (L_*) é uma propriedade intrínseca da estrela (não depende do observador).

Brilho
intrínseco

$$L_* = 4 \pi R_*^2 F_*$$

Superfície da
estrela



Raio do Sol = $6,96 \times 10^5$ km

$$L_* \propto R_*^2 T_*^4$$

- A luminosidade da estrela depende de sua temperatura e de seu raio.

Brilho Aparente

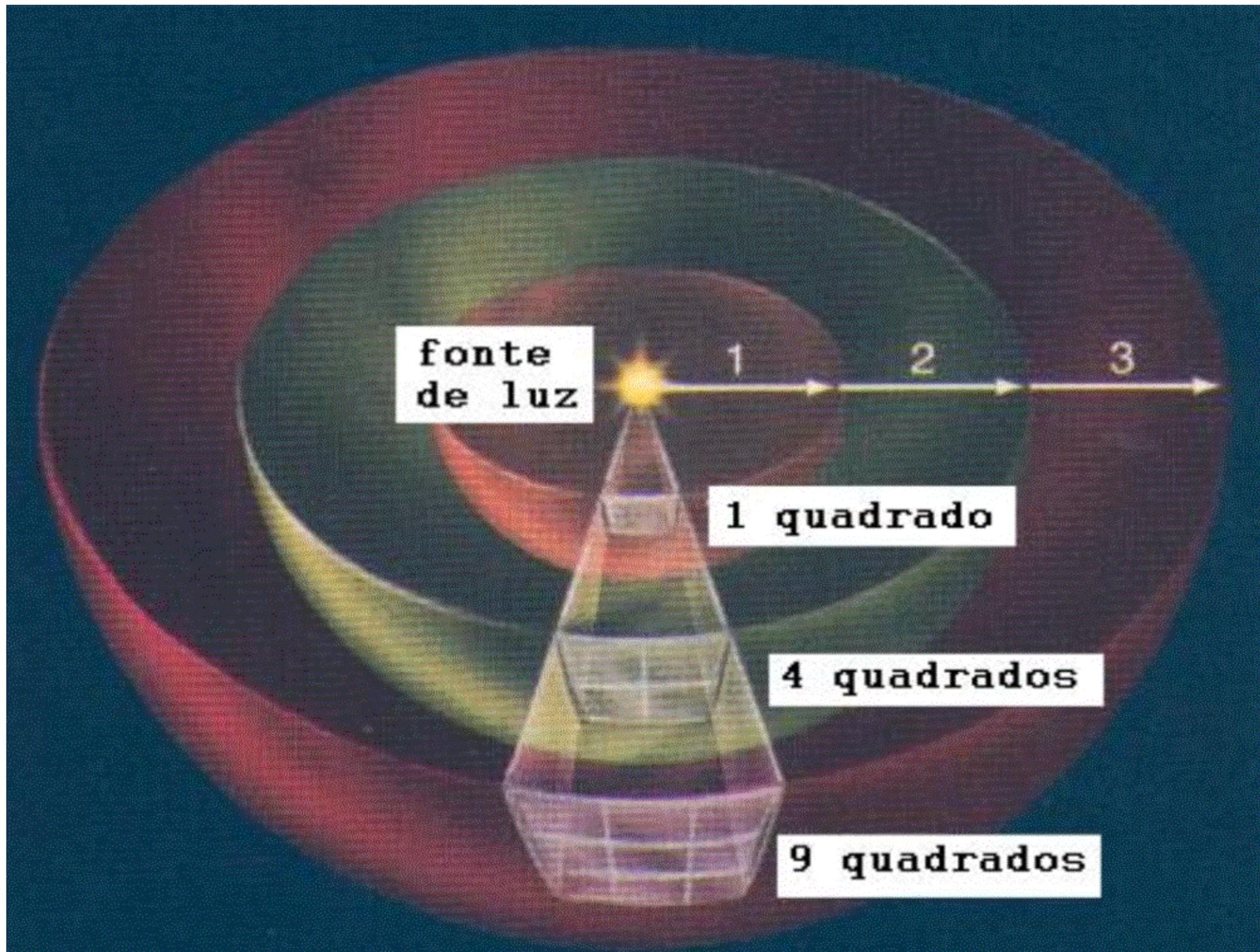
Quando olhamos uma estrela, não vemos sua luminosidade, mas sim

Brilho aparente



quantidade de energia coletada em um detector
(olho humano)

$$\text{Brilho aparente} \propto \frac{\text{Luminosidade}}{\text{Distância}^2}$$



Magnitude

Escala de magnitudes definida de forma logarítmica (olho humano):

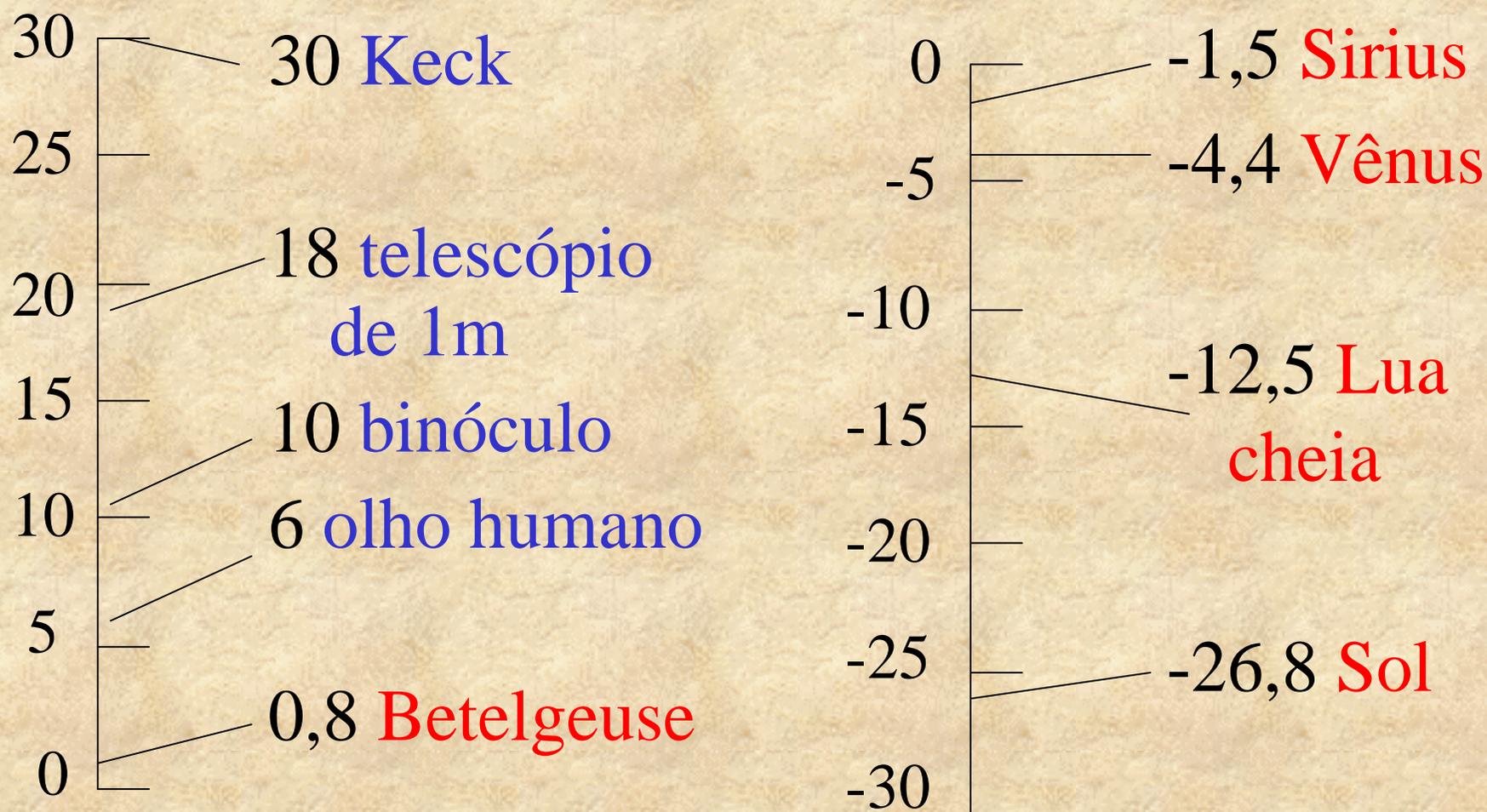
- Estrelas de menor brilho aparente: $m = 6$ mag, que corresponde a um fluxo F_6 .

↓ por definição:

O brilho aparente de uma estrela com $m = 1$ mag é 100 vezes maior: $F_1 = 100F_6$

Escala de Magnitudes

Limite de detecção de alguns telescópios e magnitude aparente de alguns astros



Magnitude Absoluta & Módulo de Distância

- A magnitude absoluta é definida em função do brilho que a estrela *teria caso ela estivesse a uma distância de 10 pc*:

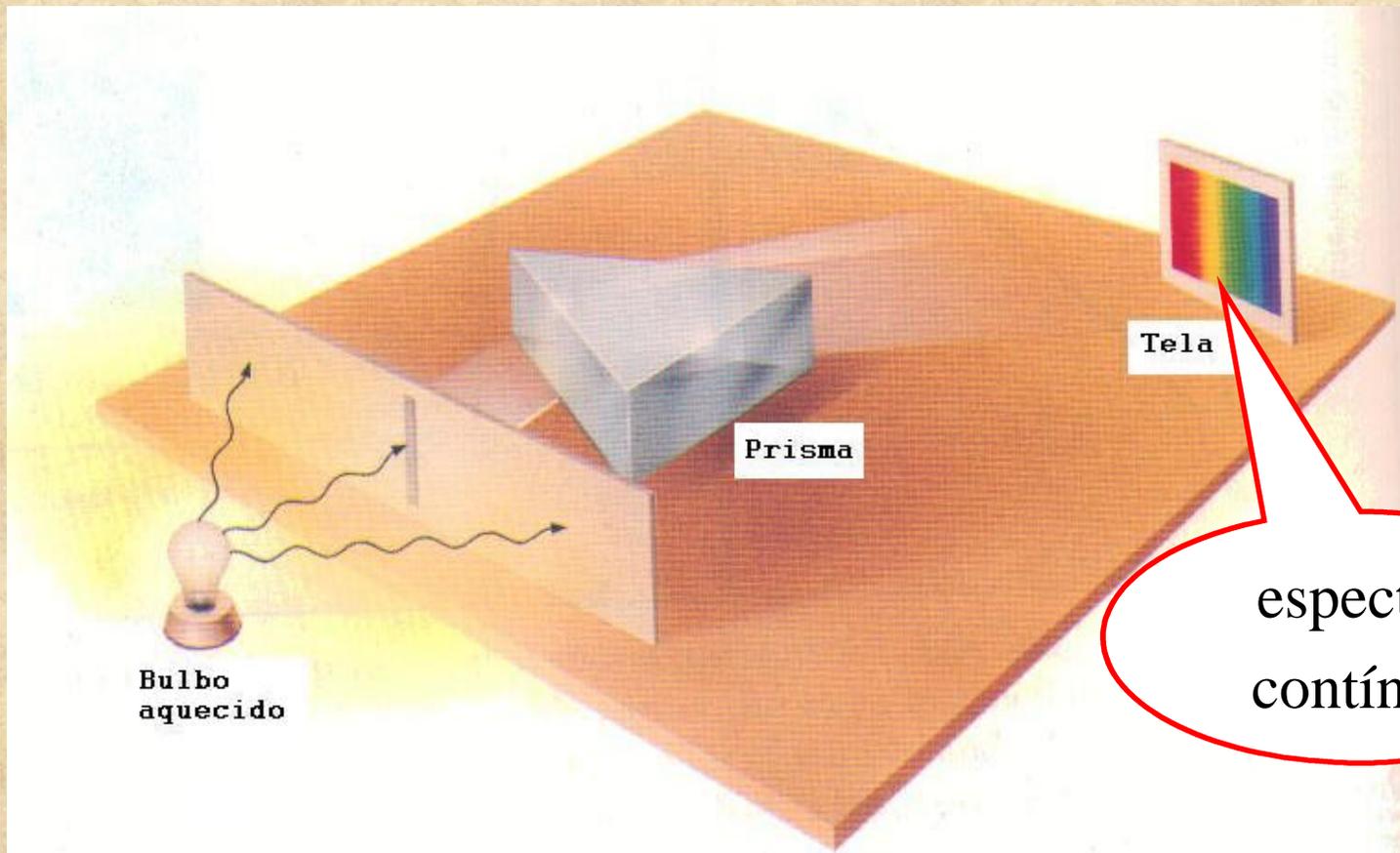
$$M \propto -2,5 \log L + 5$$

- O módulo de distância é a diferença entre a magnitude aparente e a magnitude absoluta:

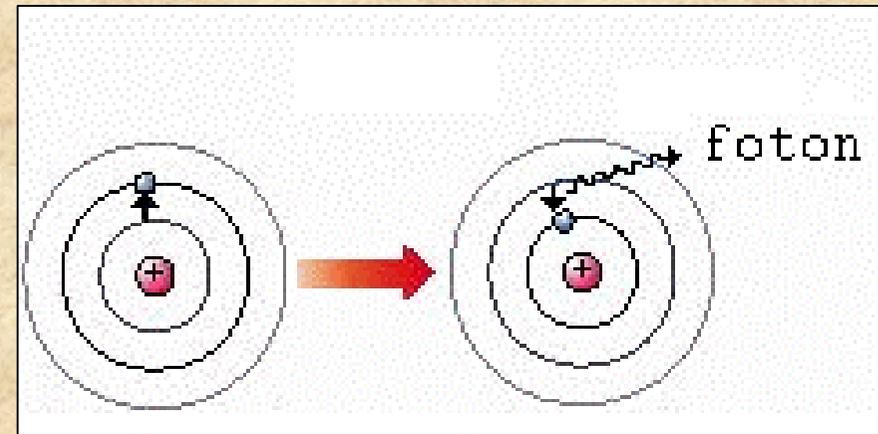
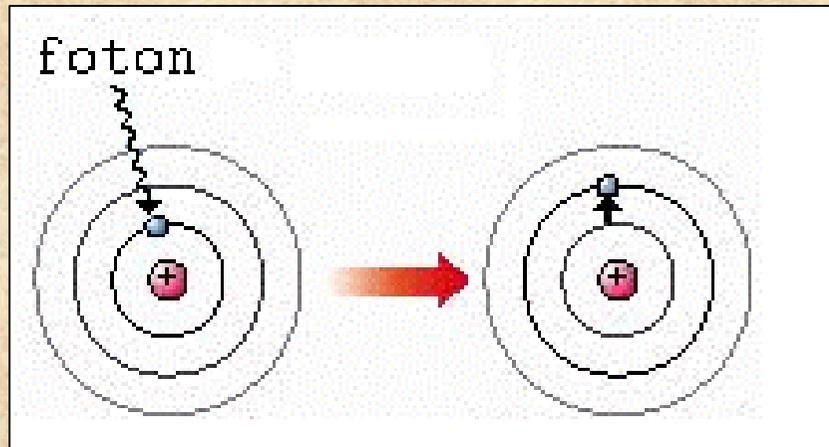
$$m - M = 5 \log d - 5 \quad (d=\text{distância em parsec})$$

ESPECTROSCOPIA

- Um prisma decompõe a luz branca em diferentes comprimentos de onda formando um espectro:



Formação de linhas espectrais



Três tipos de espectros

- Contínuo

Objeto (sólido, líquido ou gasoso) \Rightarrow pressão e temperatura elevadas.

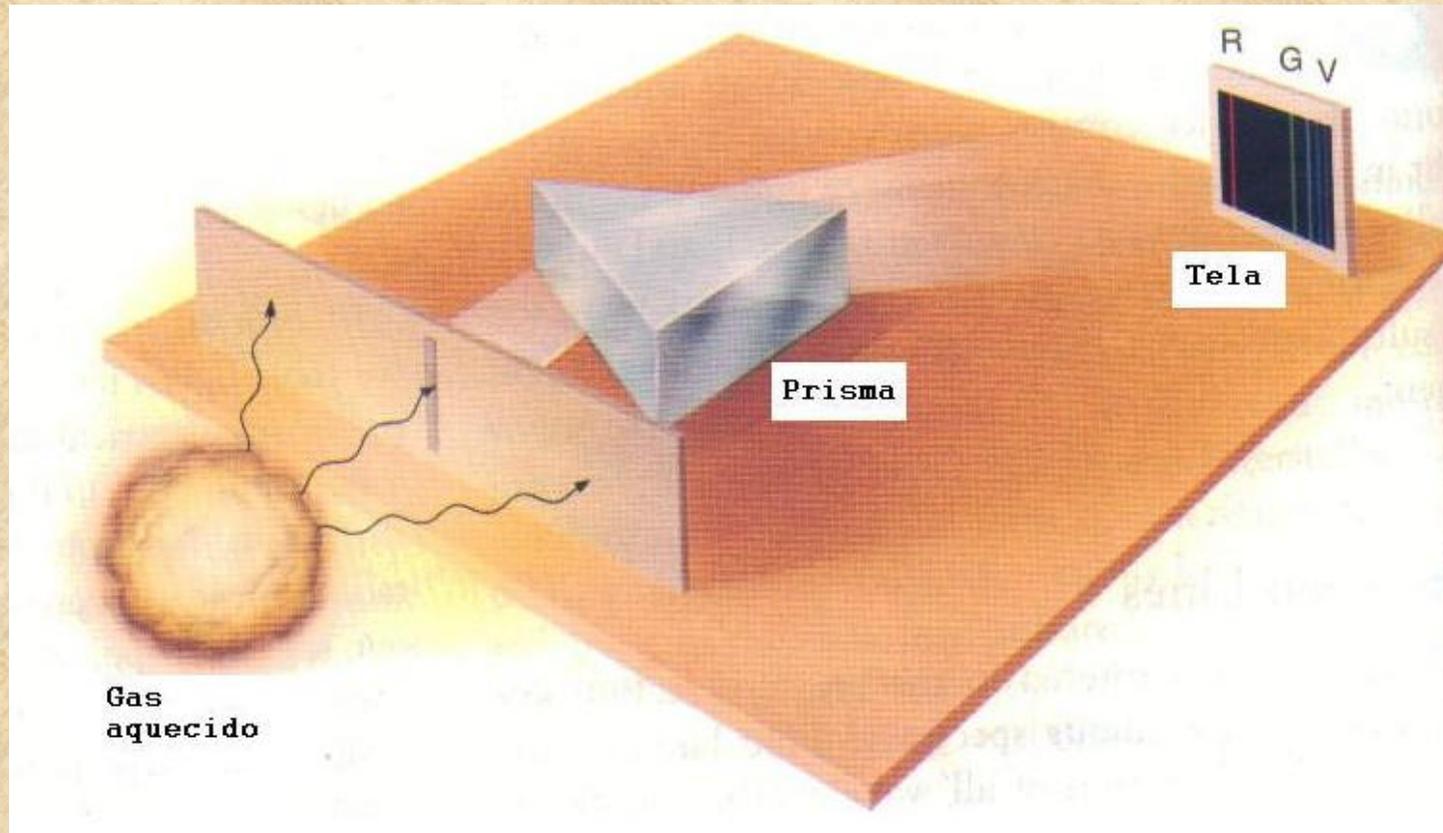
- Linhas de Emissão

Gás \Rightarrow baixa pressão e temperatura alta.

- Linhas de Absorção

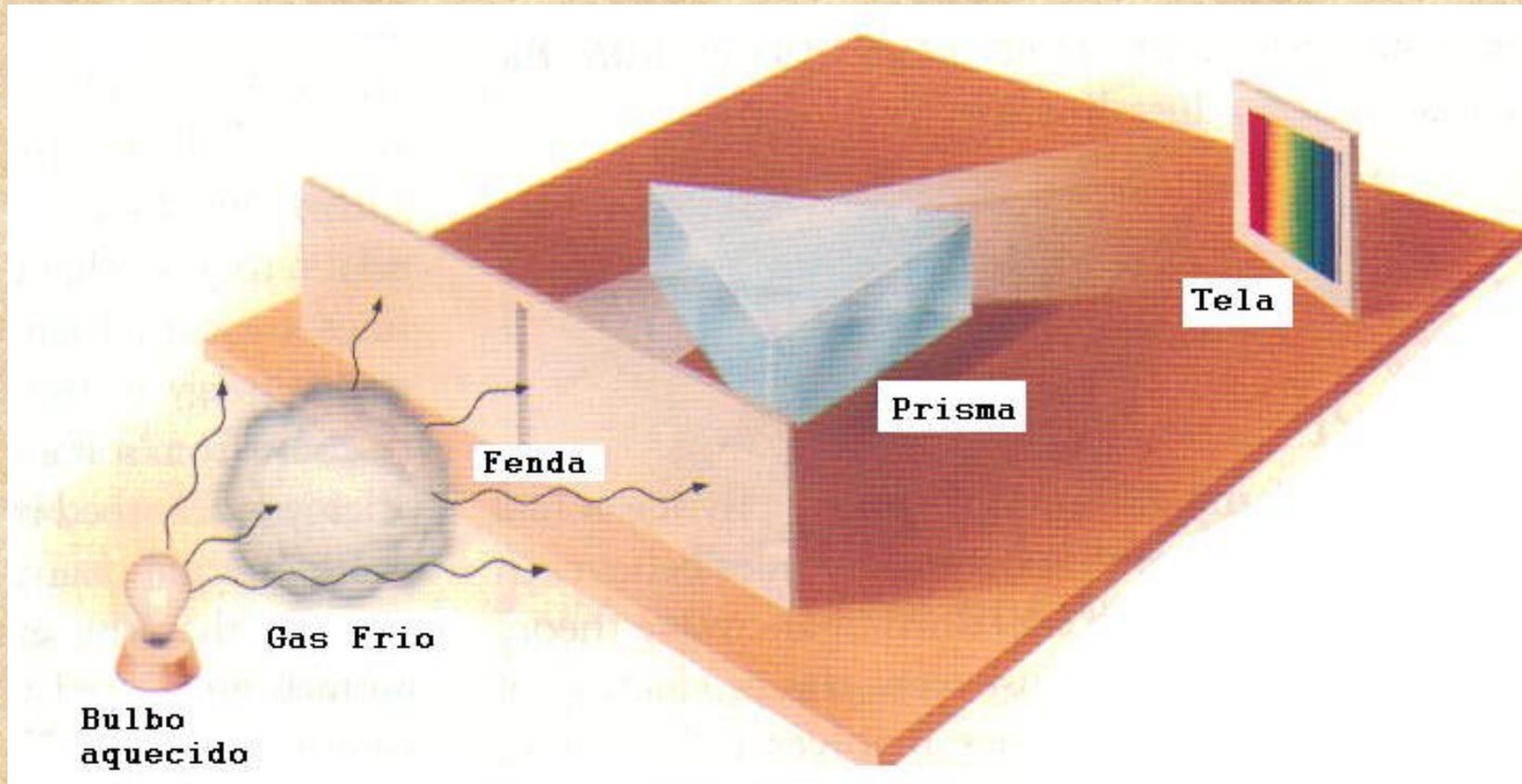
Gás \Rightarrow pressão e temperatura baixas, localizado entre uma fonte de radiação e um observador, produz um conjunto de linhas de absorção superpostas ao espectro contínuo.

Linhas de Emissão



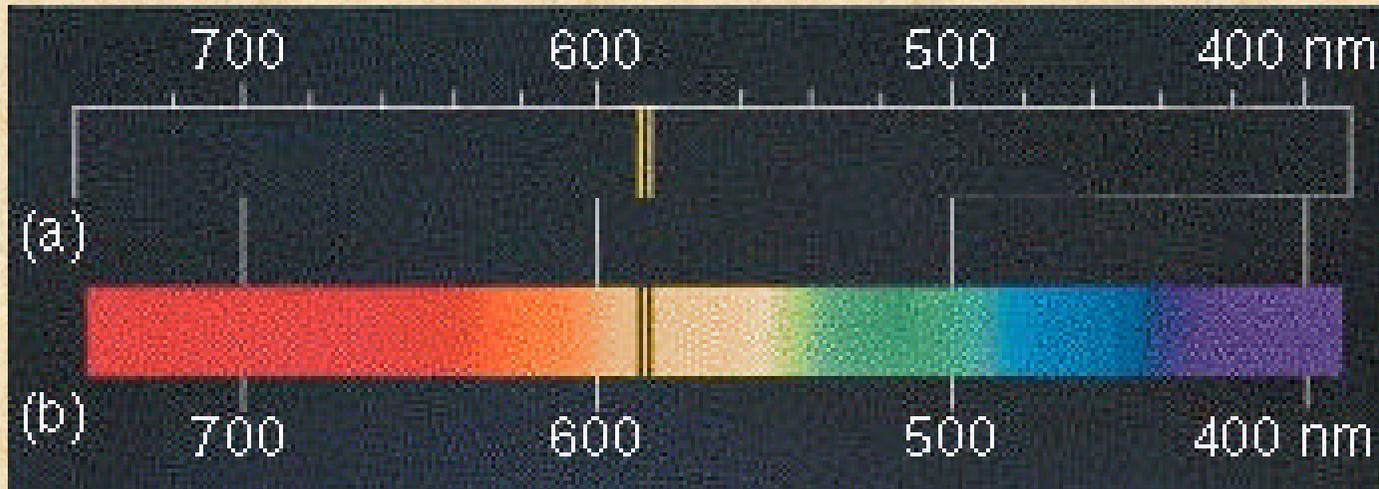
A radiação de um gás aquecido passando por uma fenda, sendo decomposta ao atravessar um prisma. Formam-se linhas brilhantes de emissão em determinados comprimentos de onda.

Linhas de Absorção



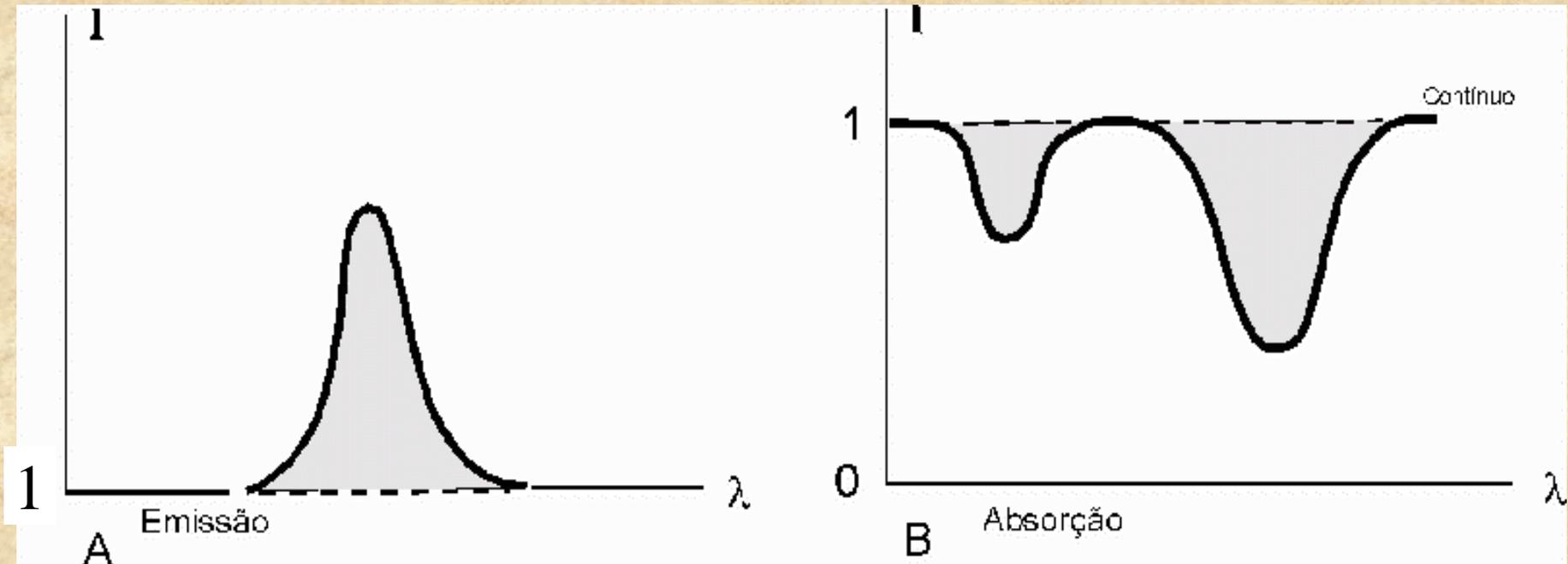
Exemplo do espectro observado quando a radiação de uma lâmpada atravessa um gás frio. Neste caso formam-se linhas escuras de absorção sobrepostas ao espectro contínuo.

Espectros Estelares

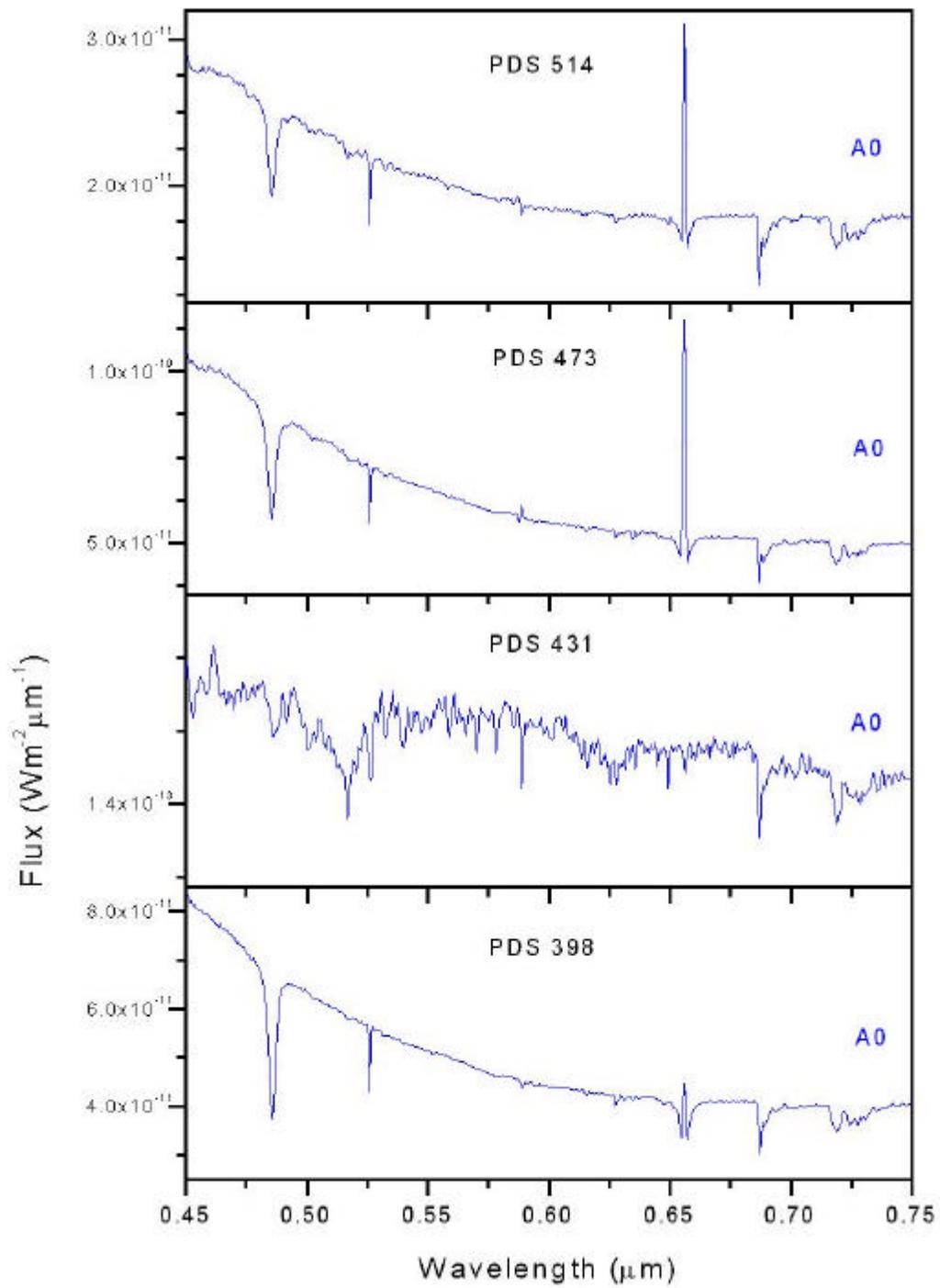


(a) O espectro de emissão do sódio, em que duas linhas brilhantes de emissão aparecem na parte amarela do espectro visível. **(b)** Espectro de absorção do sódio, em que as duas linhas escuras aparecem na mesma posição correspondentes às linhas de emissão.

Intensidade das linhas espectrais



Perfil de linhas espectrais. A intensidade é proporcional ao número de fótons envolvidos naquela particular transição. (A) Uma linha de emissão. (B) Linhas de absorção.



Efeito Doppler

O movimento de um astro com relação ao observador* altera o comprimento de onda da radiação observada \Rightarrow deslocamento das linhas espectrais:

$\lambda_{\text{observado}} > \lambda_{\text{emitido}} \Rightarrow$ deslocamento p/ região do vermelho no espectro \Rightarrow objeto se afastando.

$\lambda_{\text{observado}} < \lambda_{\text{emitido}} \Rightarrow$ deslocamento p/ região do azul no espectro \Rightarrow objeto se aproximando.

*Exemplo da sirene das ambulâncias (maior λ , menor frequência)

Bibliografia

- Astronomia: Uma Visão Geral do Universo (EDUSP)
Friaça, Dal Pino, Sodré, Jatenco-Pereira
- *Astronomy* (Prentice Hall)
Chaisson & McMillan
- Fundamentos de Astronomia (CD-ROM OV's)
Gregorio-Hetem & Jatenco-Pereira